51-64, 2002

4 機載多頻譜遙測系統之建構與應用

劉振榮 林唐煌 郭宗華 梁志綱 梁隆鑫
國立中央大學太空及遙測研究中心
E-mail: grliu@csrsr.ncu.edu.tw

摘 要 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 52
壹、前 言 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 52
貳、機載多頻譜遙測系統之建構 －－－－－－－－－－－－－ 43
參、機載多頻譜系統觀測資料之獲取 －－－－－－－－－－－ 55
肆、觀測資料之分析處理 －－－－－－－－－－－－－－－－ 57
伍、水稻產量預估之應用 －－－－－－－－－－－－－－－－ 59
陸、討論與建議 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 61
柒、誌謝 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 61
捌、引用文獻 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 61

4 機載多頻譜遙測系統之建構與應用

劉振榮 林唐煌 郭宗華 梁志綱 梁隆鑫
國立中央大學太空及遙測研究中心
E-mail: grliu@csrsr.ncu.edu.tw

摘 要

本文之主要目標爲建置具高機動性、高地面解析之機載多頻譜觀測系統，以及機載觀測資料大氣校正之常規程序，期能在地形地物複雜區域的觀測中，有效地降低混合像元的形成，提供正確的地表訊息。並利用所建構之機載多頻譜觀測系統在台中農試所試驗田區之一期稻作進行不同生長期之觀測，獲得高地面解析資料二筆，期能即時、準確地提供有關田間水稻產量和生育狀態空間變異資訊，供相關研究之應用，如水稻病蟲害之鑑別及田間稻株氮營養狀態之遙測等應用研究。此外，藉由水稻產量的預估模式測試試驗田區水稻產量之預估及空間變異分布狀況，初步結果顯示可行性頗高，將進一步深入研究。未來如能應用於大範圍的區域，則可節省相當的人力物力，除在經濟效益與時效性上有相當程度的助益，並可有效地增加農作物之產量外，亦可將此高機動之機載觀測系統應用於臨時性災害狀況之調查與受災區域之估算，相信對於救災之決策與災害之因應處理，都有極大的幫助。

關鍵詞：機載、多頻譜系統、混合像元、水稻產量。

壹、前 言

歐美等先進國家早已將遙測技術成功地應用於精準農業，我國則於研發的起步階段。由於複雜的地形地物，與歐美寬廣耕地相較之下，應用技術相對較爲困難。因此在建立高機動、高地面解析之遙測觀測系統，對於國內在精準農業的發展上將扮演重要的角色。衛星遙測雖具有遙測大範圍區域之能力，但受限於軌道特性等因素，在某些應用上目前仍無法提供足夠的時間與空間解析能力。例如台灣地區因地物複雜所形成的混合像元(mix-pixel; mixel)將強烈阻礙影像判讀的正確性，光學頻道更易受天候影響而無法攝取有用的資料，或因衛星軌道及觀測角受限而無法即時獲取地面資料等等。機載觀測系統除具有極佳的機動性，可完成突發性的任務

外，其高地面解析的多光譜觀測資料亦可有效地降低混合像元的形成，提供正確的地表訊息。因此，若輔以機載多頻譜觀測系統，則可使整個遙測技術應用系統更加完備。目前國內尚未建立機載之觀測系統，而唯一的數位化空載多譜掃描系統已屬老舊，無法滿足需求。

因此，本研究之主要目標即爲建立高機動、高地面解析之直昇機搭載多頻譜遙測系統，並研究開發應用機載遙測技術，以迅速、準確地提供有關田間水稻產量和生育狀態之空間變異分佈圖，以及可能發生的逆境種類與逆境程度空間變異分佈圖等重要資訊，俾供「水稻栽培與環境精準管理專家決策系統」做出決策及因應處理，進而提供「水稻精準管理農機具系統」進行田間水稻之精準管理，期能協助國內在精準農業之發展，以提昇國際上之競爭能力。

貳、機載多頻譜遙測系統之建構

本研究在建構機載多頻譜觀測系統，利用多頻譜觀測儀(Digital Multi-Spectral Video; DMSV-1，如圖1所示)裝載於高機動性的直升機或飛機上，對台中農試所的水稻試驗田進行觀測。DMSV-1具備有8個觀測濾鏡，中心波長分別爲414, 445, 490,

表1. DMSV-1多頻譜系統4頻道之波長範圍(STS, 1995)。

Filter Number	Central Wavelength(nm)	Band-Width(nm)
1	414	17.0
2	490	19.4
3	557	18.2
4	766	47.1
5	445	18.0
6	511	21.7
7	669	17.0
8	886	43.0

附註：每一次起飛觀測僅能使用一組濾鏡(1~4或5~8)。

表2. DMSV-1高度與地面解析度之關係(STS, 1995)。

12 mm focal length lens					
Distance to target		Resolution (pixel size)(cm)		Total frame size(meters)	
Metres	Feet	Width	Height	Width	Heith
500	1640	35.8	34.6	257	200
1000	3280	70.8	69.2	533	400
2000	6360	141.7	138.3	1067	800
3000	9840	212.5	207.5	1596	1200

附註：DMSV掃瞄時，每次約需要6秒鐘以掃瞄一張影像。

表3.　凌天航空所屬BELL 206B3型直昇機之規格。

機型	機身高度	機身長度	馬力	最大行程	機員	組員	費用/小時
BELL 206B3	11" 7.5"	31.2"	420SHP	375NM	2	3	6萬元

圖1.　多頻譜系統(DMSV-1)之外觀，包括濾鏡、資料處理系統及影像顯示器。

圖2.　DMSV-1多頻譜系統在觀測平台之架設。

511, 557, 669, 766, 866 nm，頻寬約爲17至47 nm，如表1所示。觀測資料可提供之地面解析度則視載具之飛行高度而定，約在35～212 cm之間(飛行高度約爲500～3000公尺，如表2所示)。在低空觀測的情況下，DMSV之766與866頻道的資料將可提供水稻田間極細微的變化訊息，如水稻病、蟲害之偵測。

多頻譜系統(DMSV-1)之觀測平台則選擇使用具有極高機動性的直昇機，若機身無預留的觀測視窗，則多頻譜系統在直昇機的架設頗具困難度，需架設於機身外之腳架上。測試區在霧峰的農業試驗所試驗農場，直昇機應該在中部起飛較方便，而且因爲要搭載DMSV掃瞄儀器需於空中定點停留。因此，以選擇直昇機爲佳，而凌天航空直昇機與公司都在台中，又有多次經驗。因此，本研究選用凌天航空具有觀測視窗的BELL 206B3直昇機作爲多頻譜系統之觀測平台，機型規格如表3所列，機載多頻譜遙測系統之架設結果則如圖2所示。

參、機載多頻譜系統觀測資料之獲取

本研究以民國90年爲研究期間，使用所建構之機載多頻譜觀測系統，針對台中霧峰農試所的試驗田區，配合一期稻作的水稻生長週期，於插秧後、最高分蘗期、抽穗期及糊熟期進行四次之水稻生育期的觀測，以建立完整的水稻生長週期資料供遙測模式之研發應用。

本研究於水稻之分蘗期、孕穗期、糊熟期及完熟期進行四次觀測，觀測之規劃及觀測結果說明如表四所列。爲獲得準確之水稻反射光譜資料，於機載多頻譜系統觀測的同時，配合地面SE590可攜式光譜計測量標準反射板(反射率分別爲0.02, 0.20, 0.50, 0.75, 0.99)以及水稻、柏油路等地物，以提供DMSV各波段之大氣校正參考資料。

一、水稻分蘗期之觀測(2001/04/24):

本次觀測實驗共分爲直昇機與地面量測兩組共6人，直昇機組有梁隆鑫、黃世任及梁志綱等3人，地面量測組則有林唐煌、劉崇治及郭宗華等3人。機載多頻譜系統之觀測高度分別爲700、1000及1200公尺。圖3即爲機載多頻譜觀測系統在試

表4.　90年台中農試所試驗田區一期稻作觀測期程之規劃。

日期	水稻生長期	觀測儀器	說明
2001/04/24	分蘗期	DMSV 1; SE590; 標準反射板	觀測任務順利完成 (晴天，部分高積雲)
2001/05/15	孕穗期	DMSV 1; SE590; 標準反射板	觀測任務順利完成 (晴天，對流雲層多)
2001/06/11	糊熟期	DMSV 1; SE590; 標準反射板	於台中機場等候多時，雲層仍多，觀測取消
2001/06/17	完熟期	DMSV 1; SE590; 標準反射板	直昇機無法配合，觀測取消

圖3. 機載多頻譜觀測系統在試驗田區觀測影像之一(觀測高度爲1200公尺)，2001/04/24。

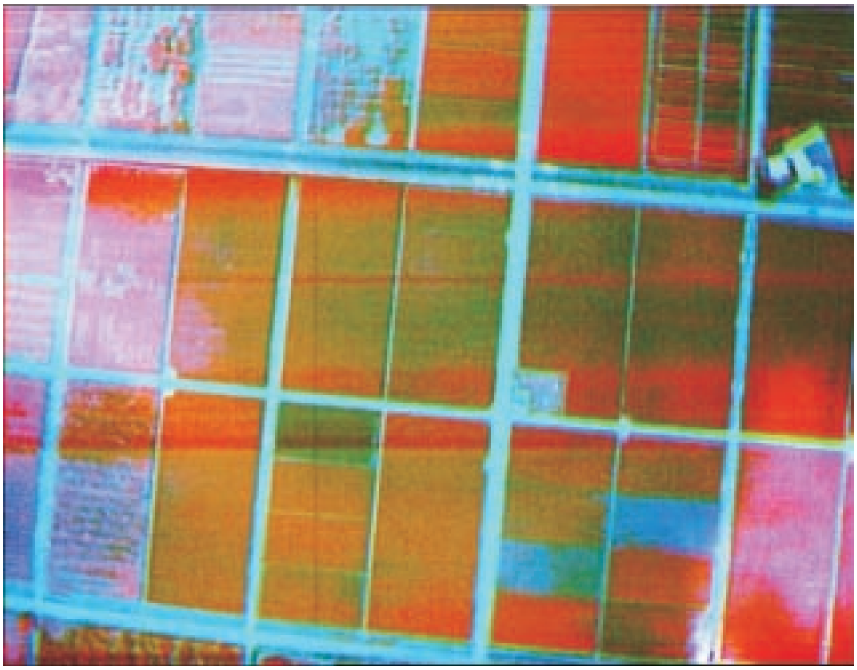


圖4. 機載多頻譜觀測系統在試驗田區觀測影像之一(觀測高度爲700公尺)，2001/05/15。

驗田區觀測影像之一。

二、水稻孕穗期之觀測(2001/05/15):

觀測儀器及人員同分蘗期(2001/04/24)之觀測。但因此次觀測時受雲影響頗大，欲獲得準確之水稻反射光譜資料，困難度頗高，觀測資料目前無法提供正常之使用，但本研究仍會深入研究，以提供正確之水稻反射光譜資料。圖4即爲機載多頻譜觀測系統在試驗田區觀測影像之一。

肆、觀測資料之分析處理

一般而言，應用遙測資料基本的兩個前處理就是要對遙測觀測資料做幾何定位與輻射校正，也就是說在使用遙測資料前，必須確定觀測影像上任何一點像元正確的位置與反射(輻射)強度值，尤其是高地面解析之遙測資料(陳，1988; 陳和王，1999)。

一、DMSV-1觀測資料之幾何校正

遙測之觀測資料DMSV-1四波段(濾鏡)的觀測影像是經由四個CCD Camera感測的訊號所擷取而成的，在影像擷取的過程中，單數列與雙數列(line)的位置會有3~5個像元的差距產生，需校正後才能獲得正確之相對位置。此外，四個波段(濾鏡)影像之相對位置，亦有所差異，亦需校正始能獲得正確之影像間套合，校正結果可參閱圖3及圖4。

二、DMSV-1觀測資料之大氣輻射校正

機載或衛載的觀測資料須經過大氣校正後，始能獲得正確的地表資訊。目前最直接而準確之大氣校正方法爲配合衛星通過的同時，在地面之同步測量大氣的輻射參數，以爲大氣校正之依據(陳，1988; 林等, 2001; Robinson et al.1979; Moran et al., 1990; Liu et al., 2001; Lin et al., 2001)。爲獲得準確之水稻反射光譜資料，本研究於機載多頻譜系統觀測的同時，配合地面SE590可攜式光譜計測量標準反射板(反射率分別爲0.02, 0.20, 0.50, 0.75, 0.99)以及水稻、柏油路等地物，以提供DMSV各波段之大氣校正參考資料。

於水稻分蘗期之觀測(2001/04/24)實驗中，機載多頻譜觀測系統分別在700、1000及1200 公尺三個高度進行觀測，700公尺的觀測資料提供大氣校正使用，而1200公尺的觀測資料則可提供其它之研究應用。DMSV-1多頻譜系統之觀測資料品質有待評估，波段1(414 nm)的資料均爲0,1,2數值，無法使用。而波段2(490 nm)的數值似乎已經經過正規化了，在反射率大於0.5以上便無法辨識其間之差異。利用700公尺的觀測資料配合地面之同步測量的反射資料，進行DMSV-1各波段的大氣校正如圖5所示，圖中白色小亮點即爲不同反射率之標準反射板，藉以獲得DMSV-1各波段之灰階值與輻射強度或反射率之大氣校正轉換模式。而DMSV-1各波段之灰階值與輻射強度或反射率之關係如圖6所示，從圖中的分布關係可清楚地顯示，灰階值與輻射強度或反射率間具有良好的線性關係，非常符合預期。而DMSV-1各波段之灰階值與輻射強度或反射率之大氣校正轉換模式，則如表5所列。由於水稻孕穗期(2001/05/15)觀測時受雲影響頗大，大氣輻射校正的過程並不容易且頗爲繁雜，目前尚在處理中未能及時列入本文之討論中。

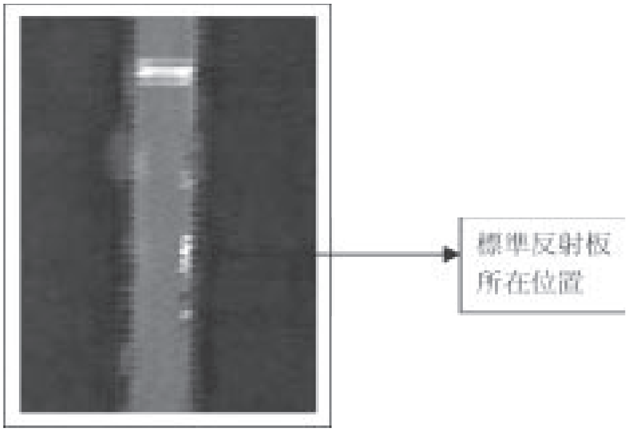
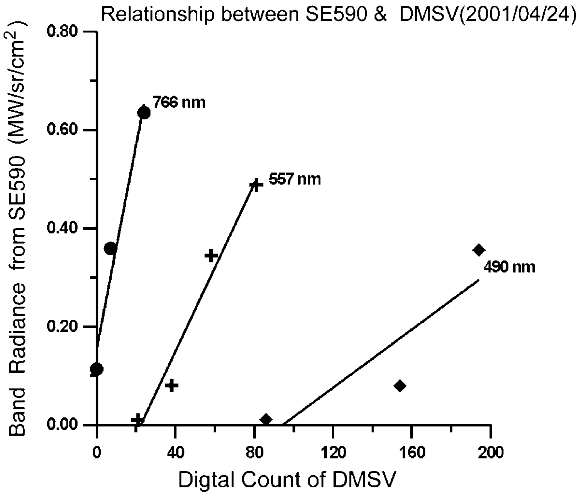


圖5. DMSV於700公尺高度觀測目標區之各波段(濾鏡)3局部影像，圖中白色小亮點即為標準反射板。



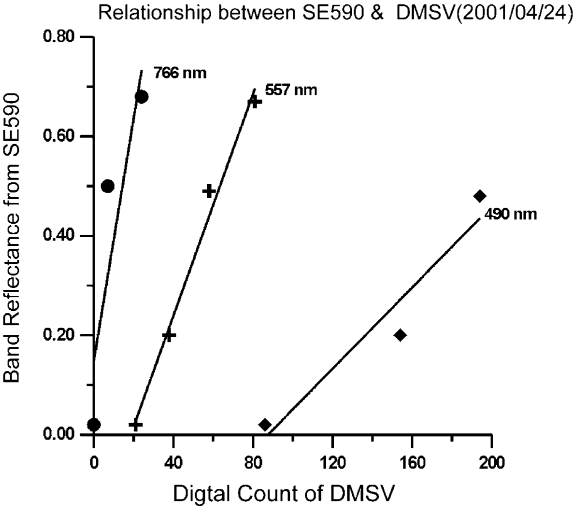


圖6. DMSV-1第2,3,4濾鏡(490, 557, 766 nm)之灰階值與輻射強度及反射率間之關係。

表5. DMSV第2,3,4濾鏡(490,557,766 nm)灰階值之大氣輻射校正係數。(台中霧峰農試所水稻試驗田區，2001/04/24)

輻射強度(mW/sr/cm**2) = 灰階值 x Gain + Offset

濾鏡(nm)	Gain	Offset
1(414)	-	-
2(490)	0.00179	0.0086
3(557)	0.00639	-0.0295
4(766)	0.00553	0.11163

反射率 = 灰階值 x Gain + Offset

濾鏡(nm)	Gain	Offset
1(414)	-	-
2(490)	0.00237	0.02
3(557)	0.00708	0.1063
4(766)	0.02105	0.0526

伍、水稻產量預估之應用

植被的反射率對光譜有強烈的選擇性質，在可見光光譜範圍內反射率很小，但在近紅外頻道範圍內反射率很強，因此可利用植被在這兩個光譜頻道的反射特性，偵測植被分佈的情形。此外在衛星遙測研究中最爲困擾的就是大氣效應的影響，爲獲取正確的植被指數，必須進行大氣效應的訂正。標準差植被指數(NDVI)就是爲了滿足以上兩項要求而設計的。其定義如下：

NDVI=(NIR-RED)/(NIR+RED)

其中NIR及RED分別爲紅光及近紅外波段之反射率或輻射強度。本研究所使用之NDVI值則是由DMSV第3濾鏡(557 nm; 紅光波段)與第4濾鏡(766 nm; 近紅外波段)之輻射強度計算所獲得。

國際上應用植被指數(NDVI)在農作物產量之估算上已頗具成果(周，1993; 周，1997; Maselli *et al*., 2000)。本研究所使用之多頻譜觀測資料(DMSV-1)包含了紅光及近紅外頻道的資料，可獲得水稻生長期植被指數的資料，將可應用於水稻產量之預估。因此，本文將利用機載多頻譜系統在農試所試驗田區的觀測資料，測試試驗田區水稻產量預估及其空間分布之情形。而水稻產量之預估模式則使用Maselli *et al*.(2000)利用13年(1981-1994)NOAA AVHRR的觀測資料所獲得穀物產量之預估模式，在衡量Morocco、Algeria、

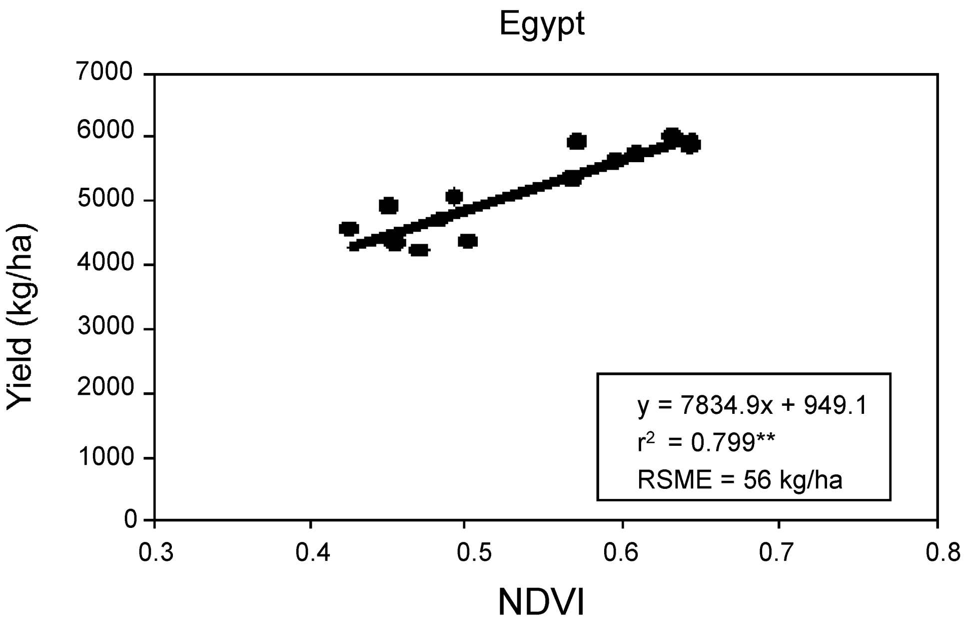


圖7. Maselli等人(2000)應用13年NOAA AVHRR的觀測資料所獲得埃及地區穀物產量之預估模式(Maselli *et al*., 2000)。

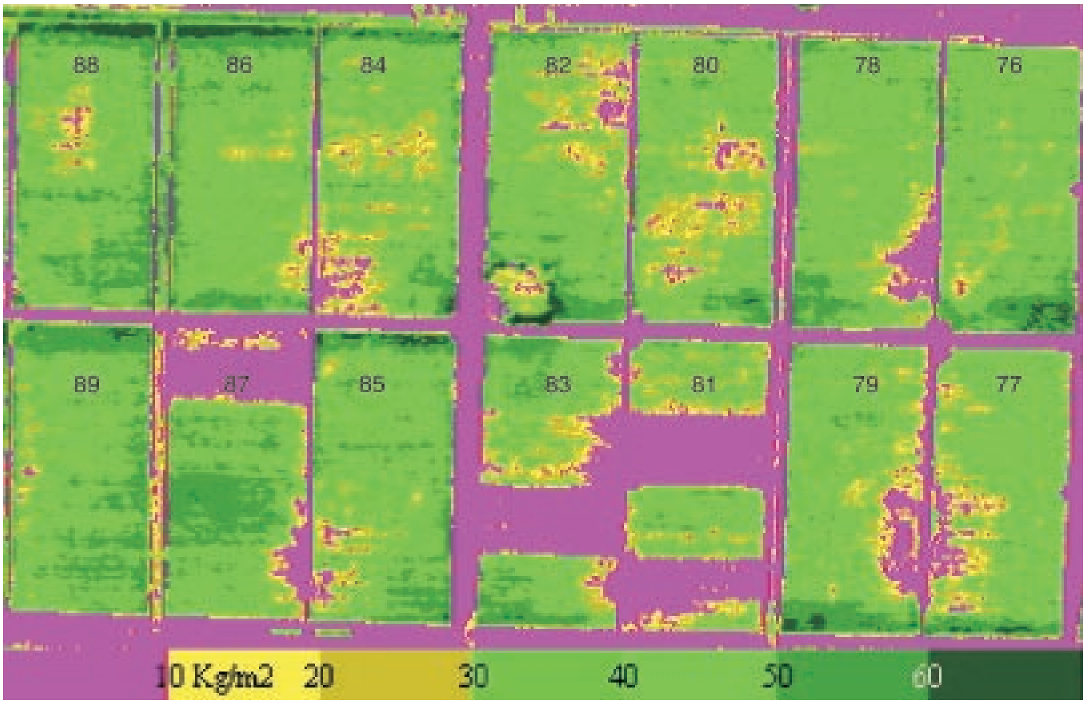


圖8. 應用機載多頻譜觀測資料估算試驗田區一期稻作水稻產量及其空間分布之情形。

Tunisia及Egypt四個國家的地理位置與水稻耕作技術及品種等因素下，本研究選用埃及(Egypt)的預估模式(參閱圖7)，作爲試驗田區水稻產量之估算，估算結果試驗田區(編號76~89)之水稻平均產量爲4400 Kg/ha(如圖8所示)，而在1997年台灣地區一期稻作之平均產量爲5600 Kg/ha，造成其間差異的主要原因爲水稻之品種不同及生長環境之差異所致，一但能獲得充分的水稻產量與機載多頻譜的觀測資料，則必能獲得準確之水稻產量預估模式。此外，從圖8中亦可發現水稻產量之空間變異情形頗爲明顯，顯示機載多頻譜觀測系統確可提供有關田間水稻產量和生育狀態之空間變異狀況，甚至可能發生的逆境種類與逆境程度空間變異分佈圖等重要資訊，以利「水稻栽培與環境精準管理專家決策系統」做出決策及因應處理，對於國內目前積極發展之水稻精準管理系統將會有極大之助益。

陸、討論與建議

本研究完成建置具高機動性、高地面解析之機載多頻譜觀測系統，以及機載觀測資料大氣校正之常規程序，確能即時而準確地提供有關田間水稻產量和生育狀態空間變異資訊，提供相關研究之應用，如水稻病蟲害之鑑別及田間稻株氮營養狀態之遙測等應用研究。藉由水稻產量的預估模式測試試驗田區水稻產量之預估及空間變異分布狀況，初步結果顯示可行性頗高，值得深入研究探討。另一方面，高機動之機載觀測系統亦可應用於臨時性災害狀況之調查與受災區域之估算，對於救災之決策與災害之因應處理，都有極大的幫助。此外，對於高機動性、高地面解析之機載多頻譜觀測系統，在本研究之觀測試驗後，提供以下兩點建議:

1. DMSV-1之輻射解析爲8 bits，在觀測田間稻株的細微變化稍嫌不足，而新一代的DMSV-2具有16 bits的輻射解析，對於稻株細微變化之訊息將可更充分地掌握，如水稻逆境之偵測應用。因此，建議更新爲DMSV-2，可提供水稻生育狀態之變化及逆境等訊息，對於水稻精準農業(耕)體系之研究與應用將有莫大的幫助。

2. 在多頻譜系統的觀測平台方面，本研究在尋求其他直昇機支援的過程中困難重重，對於研究計劃之進行影響頗鉅。因此，建議相關單位可否規劃出一專供科技研究及臨時性災害調查使用之直昇機，以協助科技研究之進行及臨時性災害狀況之調查與受災區域之估算。

柒、誌 謝

本研究首先要感謝行政院農委會農業試驗所在研究經費的支持(計劃編號: 90農科-4.1.1-農-C2(1)序號1)，和國立海洋大學在觀測儀器(DMSV-1)的支助，以及太空及遙測研究中心各項資源之提供，使本研究得以順利地完成，在此一併至上最深的謝意。

捌、引用文獻

1. 周志平。1993。植被動態光譜之研究。國立中央大學太空科學研究所碩士論文。
2. 周昶成。1997。 利用多時SPOT衛星影像以研究水稻反射率動態光譜及其應

用。國立中央大學太空科學研究所碩士論文。
3. 林唐煌、劉振榮、陳哲俊。2001。利用衛星資料求取大氣氣溶膠光學厚度之研究及其在大氣環境檢測之應用。航測及遙測學刊6(4):1-26。
4. 陳乃宇。1988。空載多譜掃瞄線之幾何及大氣校正。中央大學大氣物理研究所博士論文。
5. 陳乃宇、王顯達。1999。空載多譜掃瞄影像之幾何糾正程序-自動畫遞迴處理程序之建立。第18屆測量學術暨應用研討會。
6. Maselli F., S. Romanelli, L. Bottai and G. Maracchi. 2000. Processing of GAC NDVI MVCs for yield forecasting in the Sahelian region. IJRS, forthcoming.
7. STS, 1995. DMSV Mk1 Introduction and Operations Manual, V1.0, SpecTerra Systems, Nedlands Australia, pp50.
8. Liu, G.-R., A. J. Chen, T. H. Lin and T. H. Kuo 2001. Applying SPOT Data to Estimate the Aerosol Optical Depth and Air Quality. Journal of Environmental Modeling and Software 17(1):3-9.
9. Lin, T.-H., A. J. Chen, G.-R. Liu and T.-H. Kuo. 2001. Monitoring the Atmospheric Aerosol Optical Depth with SPOT Data in Complex Terrain. International Journal of Remote Sensing 23(4):647-659.
10. Moran M. S., R. D. Jackson, G. F. Hart, P. N. Slater, R. J. Bartell, S. F. Biggar, D. I. Gellman and R. P. Santer, 1990. Obtaining surface reflectance factors from atmospheric and view angle corrected SPOT-1 HRV data. Remote Sensing of Environment 32: 203-214.
11. Robinson B. F. and L. L. Biehl. 1979。Calibration procedure for measurement of reflectance factor in remote sensing field research. SPIE Measurements of Optical Radiations 196:16-26.

4 Construction and Application of Airborne Multi-spectral Remote Sensing System

Gin-Rong Liu, Tang-Huang Lin, Tsung-Hua Kuo, Chih-Kang Liang and Long-Shin Liang

Center for Space and Remote Sensing Research,

National Central University, Chung-Li 320 Taiwan, ROC

E-mail:grliu@csrsr.ncu.edu.tw

ABSTRACT

This paper has currently completed installment of an airborne multi-spectral observation system that is highly mobile and capable of providing high-resolution images. We have also carried out the regular procedures required for atmospheric corrections of the data, which in effect reduces the appearance of mixed ratio pixels, and allows us to correctly retrieve the spectral information from the rice fields. This project utilizes the airborne multi-spectral observation system to observe the test areas to analyze the different growth periods of the rice fields. We hope to provide a swift and accurate assessment of relevant information regarding the rice yield, growth stages, and provide data to pertinent sub projects such as the effects caused by insects or variations in the nitrogen amount that can be detected through the tools of remote sensing. With the data already acquired, initial analysis indicates that the possibility seems rather high. In the future, if we can apply this technique to a much larger area, we can save tremendous amount of resources. In addition, we could also overall increase the agricultural output. All of this could be of great help to the economical benefits and efficiency of a country's agriculture. We may even be able to apply the system on performing real-time observations in the aftermath of disasters, which could help the authorities be better informed on how to react or conduct rescue efforts.

Key words：Airborne, Multi-spectral system, Mix-pixel, Rice yield.